

Analisis Perpindahan (*displacement*) dan Kecepatan Sudut (*angular velocity*) Mekanisme Empat Batang Secara Analitik Dengan Bantuan Komputer

Oegik Soegihardjo

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Analisis perpindahan serta kecepatan sudut mekanisme empat batang, biasanya dilakukan secara grafis. Untuk mengidentifikasi perpindahan maupun kecepatan sudut mekanisme empat batang di satu posisi, cara grafis bisa dilakukan dengan sederhana dan cepat.

Namun bila analisis dilakukan untuk mengidentifikasi perpindahan serta kecepatan mekanisme empat batang di seluruh posisi batang input yang berputar 360°, cara grafis akan memakan banyak waktu. Untuk kasus semacam ini, cara analitik dengan bantuan komputer merupakan cara penyelesaian yang tepat. Kata kunci: mekanisme empat batang, batang (*link*), perpindahan, kecepatan sudut.

Kata kunci: mekanisme empat batang, batang (*link*), perpindahan, kecepatan sudut.

Abstract

Displacement and angular velocity analysis for four bar mechanism, usually being done using graphical method. This method could be used easily for displacement and angular velocity analysis of four bar mechanism in one position.

If the analysis being carried out is applied for the whole position of four bar mechanism in which the input link rotates 360°, graphical method will be inappropriate and time consuming. For this kind of situation, analytical method with the aid of computer becomes best solution for displacement and angular velocity analysis.

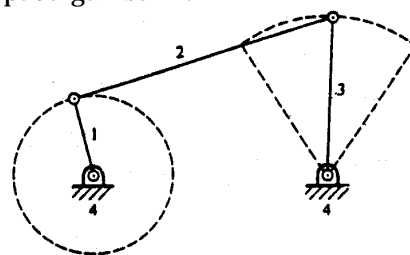
Keywords: four bar mechanism, link, displacement, angular velocity.

1. Mekanisme Empat Batang

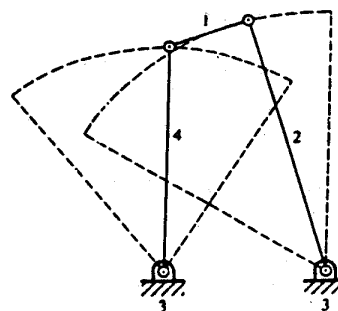
Mekanisme empat batang (*four bar mechanism*) digunakan pada sebagian peralatan mekanik untuk mencapai proses atau gerakan tertentu. Mekanisme semacam ini terdiri dari batang-batang yang bergerak relatif satu terhadap yang lain. Dalam notasi yang umum, batang tersebut juga disebut sebagai *link*. Sambungan dua batang yang memungkinkan gerakan relatif antara dua batang yang disambung, disebut *joint*. Dengan demikian mekanisme empat batang yang dimaksud, terdiri dari empat batang (*link*) yang dihubungkan oleh sambungan-sambungan (*joint*) sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadinya gerakan relatif diantara batang-batang yang ada.

Dalam analisis kinematika, perpindahan serta kecepatan dari sambungan (*joint*) mekanisme empat batang mempunyai peran sangat penting. Klasifikasi mekanisme empat batang

menurut J. T. Kimbrel dibedakan menjadi tiga, yaitu *crank rocker mechanism*, *double rocker mechanism* serta *drag link mechanism*. Ketiga mekanisme empat batang yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 1.

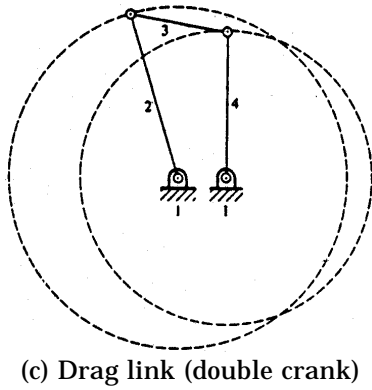


(a) Crank rocker



(b) Double rocker

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 5 Nomor 1 April 2003.



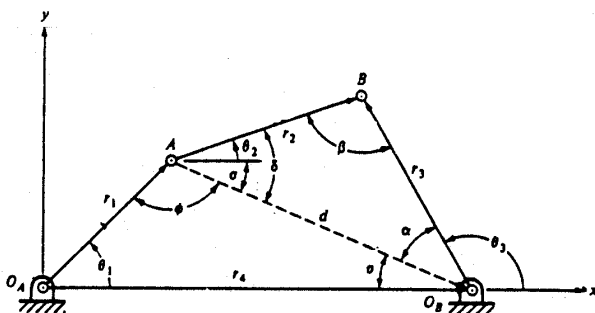
(c) Drag link (double crank)

Gambar 1. Jenis-Jenis Mekanisme Empat Batang [2].

Pada mekanisme empat batang jenis *crank rocker mechanism*, batang 1 (*input link*) berputar 360°, sedangkan batang 3 (*output link*) hanya berosilasi (gambar 1.a). Pada *double rocker mechanism* tidak ada satupun batang (*link*) yang bergerak rotasi (gambar 1.b), sedangkan pada *drag link mechanism* dua diantara empat batang (*link*) bergerak rotasi terhadap sumbu putarnya (gambar 1.c).

2. Analisis Mekanisme Empat Batang Secara Analitik

Mekanisme empat batang yang akan di analisis pada tulisan ini adalah jenis *crank rocker mechanism*. Pada mekanisme jenis ini batang 1 (*input link*) bergerak melingkar dan batang 3 (*output link*) berosilasi. Secara umum, mekanisme empat batang jenis *crank rocker mechanism* beserta parameter-parameter yang akan dipakai untuk analisis dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Empat Batang dan Parameternya [2].

Batang 1 ($O_A A$ atau r_1) merupakan batang penggerak (*input link* atau *driver*). Batang 1 berputar 360° pada poros O_A . Batang 2 (AB atau r_2) menghubungkan batang 1 dan batang 3. Batang 3 ($B O_B$ atau r_3) merupakan *output link*. θ_1 adalah sudut engkol (*crank angle*), β adalah *transmission angle*, θ_2 adalah *coupler*

angle dan θ_3 adalah *rocker angle*. Setiap perubahan θ_1 , posisi titik A, titik B besarnya sudut β , θ_2 , dan θ_3 selalu berubah. Jarak $O_A - O_B$ atau r_4 disebut sebagai *fixed link*.

2.1 Analisis Perpindahan Secara Analitik

Dengan mengacu pada gambar 2, analisis perpindahan secara analitik dapat dilakukan sebagai berikut [2]:

$$d^2 = r_4^2 + r_1^2 - 2r_1r_4 \cos \theta_1 \quad (1)$$

Dengan memperhatikan segitiga ABO_B , maka didapatkan:

$$d^2 = r_2^2 + r_3^2 - 2r_2r_3 \cos \beta \quad (2)$$

Berbagai sudut yang diperlukan dalam analisis perpindahan (*displacement*), dapat dihitung berdasarkan persamaan-persamaan berikut:

$$\cos \beta = (r_2^2 + r_3^2 - d^2)/(2r_2r_3) \quad (3)$$

$$\cos \delta = (d^2 + r_2^2 - r_3^2)/(2dr_2) \quad (4)$$

$$\cos \alpha = (d^2 + r_3^2 - r_2^2)/(2dr_3) \quad (5)$$

$$\cos \sigma = (d^2 + r_4^2 - r_1^2)/(2dr_4) \quad (6)$$

$$\phi = 180 - \sigma - \theta_1 \quad (7)$$

$$\theta_2 = \delta - \sigma \quad (8)$$

$$\theta_3 = 180 - \sigma - \alpha \quad (9)$$

Posisi sambungan (*joint*) A dan B bisa ditentukan dengan persamaan berikut:

$$X_A = r_1 \cos \theta_1 \quad (10)$$

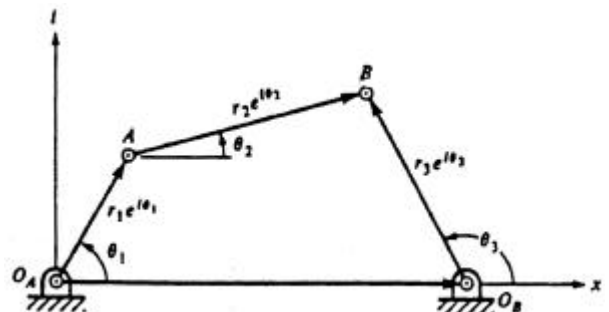
$$Y_A = r_1 \sin \theta_1 \quad (11)$$

$$X_B = r_4 - r_3 \cos (\alpha + \sigma) \quad (12)$$

$$Y_B = r_3 \sin (\alpha + \sigma) \quad (13)$$

2.2 Analisis Kecepatan Sudut Secara Analitik

Dalam bentuk vektor, batang dari suatu mekanisme dinyatakan sebagai $r e^{i\theta}$. Dengan demikian, berdasarkan gambar 3, analisis kecepatan sudut secara analitik dapat dilakukan sebagai berikut [2]:



Gambar 3. Mekanisme Empat Batang Dinyatakan Dalam Bentuk Vektor [2].

$$O_A B = r_1 e^{i\theta_1} + r_2 e^{i\theta_2} \quad (14)$$

$$O_A B = r_4 + r_3 e^{i\theta_3} \quad (15)$$

Penggabungan persamaan (14) dan (15) akan didapatkan:

$$r_1 e^{i\theta_1} + r_2 e^{i\theta_2} = r_4 + r_3 e^{i\theta_3} \quad (16)$$

Jika persamaan (16) dideferensialkan terhadap waktu, didapatkan:

$$ir_1 \omega_{r1} e^{i\theta_1} + ir_2 \omega_{r2} e^{i\theta_2} = 0 + ir_3 \omega_{r3} e^{i\theta_3} \quad (17)$$

Jika persamaan (17) dibagi dengan i , kemudian $e^{i\theta}$ dinyatakan dalam bentuk ekuivalennya (\sin dan \cos), serta memisahkan komponen riil dengan komponen imajinernya, akan menghasilkan:

$$r_2 \omega_{r2} \cos \theta_2 - r_3 \omega_{r3} \cos \theta_3 = -r_1 \omega_{r1} \cos \theta_1 \quad (18)$$

$$r_2 \omega_{r2} \sin \theta_2 - r_3 \omega_{r3} \sin \theta_3 = -r_1 \omega_{r1} \sin \theta_1 \quad (19)$$

Dalam persamaan (18) dan (19) ada dua parameter yang tidak diketahui, yaitu ω_{r2} dan ω_{r3} . Dengan demikian kedua persamaan tersebut dapat diselesaikan secara simultan untuk mendapatkan kedua parameter yang tidak diketahui tersebut. Dua parameter yang tidak diketahui tersebut (ω_{r2} dan ω_{r3}) merupakan kecepatan sudut dari batang 2 dan batang 3. Dengan menggunakan aturan Cramer, kedua parameter tersebut dapat dihitung melalui persamaan:

$$\omega_{r2} = \omega_{r1} (r_1/r_2) (\sin (\theta_1 - \theta_3)/\sin (\theta_3 - \theta_2)) \quad (20)$$

$$\omega_{r3} = \omega_{r1} (r_1/r_3) (\sin (\theta_1 - \theta_2)/\sin (\theta_3 - \theta_2)) \quad (21)$$

Dengan persamaan-persamaan di atas, semua parameter yang diperlukan untuk analisis perpindahan serta kecepatan sudut mekanisme empat batang dapat dihitung.

3. Algoritma Pemrograman

Berdasarkan persamaan-persamaan penyelesaian analitik untuk menghitung perpindahan serta kecepatan sudut dari mekanisme empat batang, algoritma pemrograman untuk analisis mekanisme tersebut dapat dikembangkan sebagai berikut:

3.1 Data masukan

Data masukan untuk pemrograman ini berupa sudut engkol (θ_1) yang akan bergerak mulai 0° sampai dengan 360° serta kecepatan sudut batang 1 (ω_{r1}). Data masukan lainnya berupa dimensi batang 1 (*crank*, r_1), batang 2 (*coupler*, r_2), batang 3 (*rocker*, r_4) serta jarak $O_A - O_B$ (*fixed link*, r_4).

3.2 Proses perhitungan

Proses perhitungan pada program komputer didasarkan pada persamaan-persamaan yang diuraikan pada bagian 2.1 (analisis perpindahan) maupun bagian 2.2 (analisis kecepatan sudut). Semua parameter yang dihitung akan selalu berubah sesuai dengan perubahan θ_1 .

Kisar perubahan θ_1 selama bergerak dari $0^\circ - 360^\circ$ dapat dilihat pada hasil analisis di lampiran 2 dan lampiran 3. Lampiran 1 merupakan *source program* untuk analisis perpindahan dan kecepatan sudut mekanisme 4 batang. *Source program* dibuat dengan Fortran 77.

3.3 Data keluaran

Data keluaran yang dihasilkan dari analisis mekanisme empat batang ini berupa harga-harga θ_2 (*coupler angle*), θ_3 (*rocker angle*), β (*transmission angle*), posisi titik A (X_A, Y_A) dan titik B (X_B, Y_B), ω_{r2} (*coupler angular velocity*), ω_{r3} (*rocker angular velocity*). Data keluaran ditabulasikan di lampiran 2 dan lampiran 3.

4. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1 Data Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mekanisme empat batang yang batang inputnya (*crank*) berputar 360° . Data lain yang dipakai dalam simulai adalah sebagai berikut:

- panjang batang input (*crank*): 2; 3; 4, dan 5 satuan panjang
- panjang batang penghubung (*coupler*): 15 satuan panjang
- panjang batang output (*rocker*): 9 satuan panjang
- jarak $O_A - O_B$ (*fixed link*): 12 satuan panjang
- kecepatan sudut (*angular velocity*) batang input: 5 rad/detik.

Data di atas merupakan data masukan untuk simulai perpindahan dan kecepatan sudut mekanisme empat batang. Simulasi dilakukan untuk satu putaran poros engkol (*input link* atau *driver*) mulai 0° sampai dengan 360° dengan kenaikan setiap 20° . Simulasi dilakukan dengan merubah panjang poros engkol mulai 2, 3, 4 dan 5 satuan panjang, sedangkan data masukan lain dibuat tetap. Tujuan melakukan hal ini adalah untuk melihat bagaimana perubahan dimensi poros engkol akan mempengaruhi variable-variable dalam mekanisme empat batang. Sebenarnya dengan simulasi semacam ini, ada berbagai variable yg bisa diubah-ubah untuk melihat bagaimana pengaruh variable yang diubah tersebut akan berpengaruh terhadap variable lainnya yang bisa dipakai sebagai indikator untuk melihat karakteristik mekanisme empat batang.

4.2 Hasil Simulasi

Hasil simulasi dapat dilihat pada lampiran 2 dan lampiran 3. Lampiran 2 adalah hasil simulasi mekanisme empat batang dengan

panjang poros engkol 2 dan 3 satuan panjang, sedangkan lampiran 3 adalah hasil simulasi mekanisme empat batang dengan panjang poros engkol 4 dan 5 satuan panjang. X_a dan Y_a pada hasil simulasi menunjukkan koordinat titik A (sambungan antara poros engkol (r_1) dan batang penghubung, (r_2), selama poros engkol berputar satu putaran. Sedangkan X_b dan Y_b merupakan koordinat titik B (sambungan antara batang penghubung (r_2) dan batang output (rocker, r_3), selama poros engkol berputar satu putaran). Parameter i menyatakan besarnya sudut engkol terhadap sumbu X (positif untuk putaran poros engkol berlawanan dengan arah jarum jam (ccw)). Parameter omr adalah kecepatan sudut (angular velocity) dari batang penghubung (coupler), sedangkan parameter oms adalah kecepatan sudut dari batang output (rocker). Parameter β adalah harga *transmission angle* yang merupakan salah satu indikator untuk mengevaluasi baik tidaknya mekanisme yang sedang disimulasi.

4.3 Analisis Perpindahan

Dari ke empat hasil simulasi, dapat dilihat bahwa berdasarkan koordinat titik B (yang ditunjukkan melalui parameter X_b dan Y_b) maka gerakan batang output (rocker) merupakan gerakan bolak-balik (osilasi). Semakin panjang dimensi poros engkol, semakin besar osilasi batang output. Untuk panjang poros engkol 2 satuan panjang, koordinat simpangan maksimal titik B adalah (14.6, 8.6) dan (10.1, 8.8). Untuk panjang poros engkol 5 satuan panjang, koordinat simpangan maksimal titik B adalah (19.3, 5.3) dan (7.7, 7.9).

Parameter β , yang menunjukkan harga *transmission angle* dapat memberikan indikasi tentang *smooth* atau tidaknya suatu mekanisme empat batang. Untuk mendapatkan mekanisme empat batang yang dalam operasinya diharapkan cukup *smooth*, harga β direkomendasikan lebih besar dari 40° dan lebih kecil dari 120° . Dari hasil simulasi, mekanisme yang paling baik (berdasarkan *smooth* atau tidaknya mekanisme saat beroperasi) adalah mekanisme dengan panjang poros engkol 2 satuan panjang. Kondisi ini memenuhi batasan nilai *transmission angle* ($40 - 120$ derajat). Dimensi poros engkol lainnya (3, 4 dan 5 satuan panjang), tidak memenuhi batasan nilai yang disyaratkan karena harga batas bawah *transmission angle* yang disyaratkan tidak dipenuhi. Besarnya batas bawah *transmission angle* yang dicapai dalam simulasi adalah 36° , 26° dan 17° untuk panjang poros engkol 3, 4 dan 5 satuan panjang.

4.4 Analisis Kecepatan Sudut

Untuk semua simulasi, kecepatan sudut dari poros engkol adalah sama, yaitu sebesar 5 rad/detik. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar dimensi poros engkol, semakin besar kecepatan sudut maksimum dari batang penghubung (coupler, dengan parameter kecepatan sudut omr) maupun batang output (rocker, dengan parameter kecepatan sudut oms). Tanda + pada parameter omr dan oms menunjukkan bahwa arah kecepatan sudut berlawanan dengan arah dengan jarum jam (counter clock wise), sedangkan tanda menunjukkan arah sebaliknya (clock wise). Untuk panjang poros engkol 5 satuan panjang, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung adalah $-3,6488$ rad/det (untuk sudut poros engkol 340°), dan kecepatan sudut maksimum untuk batang output adalah $-4,0973$ rad/det (untuk sudut poros engkol 320°).

Besar kecilnya kecepatan sudut dari batang-batang pada mekanisme empat batang ini akan berpengaruh terhadap besar kecilnya gaya yang timbul pada batang-batang tersebut. Pada simulasi ini memang tidak dilakukan perhitungan mengenai besarnya gaya yang timbul pada masing-masing batang, namun demikian besarnya kecepatan sudut yang terjadi pada masing-masing batang, mengindikasikan bahwa gaya-gaya yang lebih besar akan muncul pada batang-batang yang mempunyai kecepatan sudut lebih besar. Informasi ini juga menjadi indikator tentang *smooth* atau tidaknya mekanisme empat batang yang disimulasi.

5. Kesimpulan

Analisis mekanisme empat batang secara analitik dengan bantuan komputer dapat mengevaluasi seluruh kondisi batang (link) sesuai dengan perubahan posisi batang 1 secara cepat. Data hasil simulasi menunjukkan apakah ada kondisi tertentu yang kurang memenuhi syarat, seperti *transmission angle* yang terlalu besar atau terlalu kecil; atau osilasi batang 3 yang terlalu kecil maupun terlalu besar serta berbagai kondisi lain yang memberi informasi tentang karakteristik mekanisme empat batang.

Jika hasil simulasi menunjukkan indikasi bahwa mekanisme empat batang yang sedang disimulasi mempunyai kondisi yang tidak sesuai dengan persyaratan, sehingga diperlukan perubahan data masukan untuk mencapai kondisi yang disyaratkan, maka analisis ulang dapat dilakukan kembali dengan cepat.

Daftar Pustaka

1. Holowenko, A.R., *Dynamics of Machinery*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1985.
2. Kimbrell, J.T., *Kinematics Analysis and Synthesis*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1991.
3. Koffman, B.E., Friedman, F.L., *Fortran with Engineering Applications*, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1993.

Lapiran 1. Source Program Mekanisme Empat Batang (Fortran 77)

```

c program mekanisme 4 batang
c variabel
  real p, q, r, s, w, d, bet, gam, sigy, sigx, xa, ya
  real alfa, gamma, sigma, phi, epsilon, beta, xb, yb
  real iphi, ibeta, iepson, omr, oms, omq
  common /sdt/sigma, beta, gamma, epsilon, w
  common /btq/q, r, s
  integer i, incr
c begin
  open (3, file='batang.out', status='new')
  write (*, *) 'tentukan p, q, r, s'
  read (*, *) p, q, r, s
  write (*, *) 'masukkan harga kecepatan sudut poros engkol'
  read (*, *) omq
  write (*, *) 'tentukan kenaikan sudut engkol'
  read (*, *) incr
  write (*, 15) p, q, r, s, omq
  write (3, 15) p, q, r, s, omq
15  format(2x, ///, 2x, 'panjang OA-OB (fixed link):', 2x, f5.2, /,
+2x, 'panjang poros engkol (crank/driver):', 2x, f5.2, /,
+2x, 'panjang batang penghubung (coupler):', 2x, f5.2, /,
+2x, 'panjang batang ayun (rocker/output link):', 2x, f5.2, /,
+2x, 'kecepatan sudut poros engkol (rad/detik):', 2x, f5.2)
  write (*, *)
  write (3, *)
  write (*, *) ' i      epsl      phi      beta      xa      ya      xb      yb
+      omr      oms'
  write (3, *) ' i      epsl      phi      beta      xa      ya      xb      yb
+      omr      oms'
  write (*, *)
  write (3, *)
c perhitungan
  do 10 i = 0, 360, incr
    w = float(i)*0.0174532
    d = sqrt(p**2 + q**2 - 2*p*q*cos(w))
    sigy = -q*sin(w)
    sigx = p - q*cos(w)
    sigma = abs(atan(sigy/sigx))
    if ((sigy .lt. 0).and.(sigx .lt. 0)) then
      sigma=sigma + 3.1415927
    elseif ((sigy .gt. 0).and.(sigx .lt. 0)) then
      sigma=abs(sigma + 1.5707963)
    else
      sigma=6.2831853 - sigma
    endif
  enddo

```

Lapiran 1. (lanjutan) Source Program Mekanisme Empat Batang (Fortran 77)

```

$page
  gam = (d**2 + r**2 - s**2)/(2*d*r)
  gamma= -atan(gam/sqrt(-gam*gam + 1)) + 1.5707963
  epsilon=gamma + sigma - 6.2831853
  bet= (r**2 + s**2 -d**2)/(2*r*s)
  beta= -atan(bet/sqrt(-bet*bet + 1)) + 1.5707963
  alfa= 3.1415927 - gamma - beta
  phi = sigma+gamma+beta - 6.2831853
  xb=p - s*cos(3.1415927-phi)
  yb=s*sin(3.1415927-phi)
  call velocity (omq,omr,oms)
  iphi = int((sigma+gamma+beta - 6.2831853)/.0174532)
  if (iphi .lt. 0) iphi = 360 + iphi
  ibeta = int(beta/.0174532)
  ieppsilon=int(epsilon/.0174532)
  if (iepsilon .lt. 0) ieppsilon = 360 + ieppsilon
  xa= q*cos(w)
  ya= q*sin(w)
  write (*,25) i,iepsilon,iphi,ibeta,xa,ya,xb,yb,omr,oms
  write (3,25) i,iepsilon,iphi,ibeta,xa,ya,xb,yb,omr,oms
25  format(2x,i3,2x,7(f5.1,2x),3x,2(f7.4,3x))
10  continue
    close (3)
    stop
    end

c -----
c  subroutine velocity (omq,omr,oms)
c  variabel
c  real sigma, beta, gamma, epsilon, w
c  real q, r, s
c  common /sdt/sigma,beta,gamma,epsilon,w
c  common /btg/q,r,s
c  begin
    phi = sigma + gamma + beta - 6.2831853
    if (phi .lt. 0) phi = 6.2831853 + phi
    if (epsilon .lt. 0) epsilon = 6.2831853 + epsilon
c  perhitungan kecepatan sudut batang r dan s
    omr = (omq*q*sin(w-phi))/(r*sin(phi-epsilon))
    oms = (omq*q*sin(w-epsilon))/(s*sin(phi-epsilon))
    return
  end

```

Lampiran 2. Data Hasil Simulasi (Panjang Poros Engkol 2 dan 3 satuan panjang)

panjang OA-OB (fixed link): 12.00
 panjang poros engkol (crank/driver): 2.00
 panjang batang penghubung (coupler): 15.00
 panjang batang ayun (rocker/output link): 9.00
 kecepatan sudut poros engkol (rad/detik): 5.00

i	eps1	phi	beta	xa	ya	xb	yb	omr	oms
0	35.0	75.0	40.0	2.0	.0	14.2	8.7	-1.0000	-1.0000
20	31.0	73.0	41.0	1.9	.7	14.6	8.6	-.8094	-.3480
40	29.0	73.0	43.0	1.5	1.3	14.6	8.6	-.5251	.2999
60	27.0	75.0	47.0	1.0	1.7	14.3	8.7	-.2385	.8036
80	27.0	79.0	51.0	.3	2.0	13.7	8.8	.0112	1.1226
100	27.0	84.0	56.0	-.3	2.0	12.9	9.0	.2197	1.2715
120	28.0	89.0	60.0	-1.0	1.7	12.1	9.0	.3929	1.2797
140	30.0	94.0	63.0	-1.5	1.3	11.3	9.0	.5352	1.1747
160	33.0	98.0	65.0	-1.9	.7	10.7	8.9	.6450	.9797
180	35.0	101.0	65.0	-2.0	.0	10.1	8.8	.7143	.7143
200	33.0	98.0	65.0	-1.9	-.7	10.7	8.9	.7192	.2797
220	30.0	94.0	63.0	-1.5	-1.3	11.3	9.0	.6049	-.1978
240	28.0	89.0	60.0	-1.0	-1.7	12.1	9.0	.3749	-.6596
260	27.0	84.0	56.0	-.3	-2.0	12.9	9.0	.0570	-1.0556
280	27.0	79.0	51.0	.3	-2.0	13.7	8.8	-.3000	-1.3470
300	27.0	75.0	47.0	1.0	-1.7	14.3	8.7	-.6345	-1.5030
320	29.0	73.0	43.0	1.5	-1.3	14.6	8.6	-.8857	-1.5001
340	31.0	73.0	41.0	1.9	-.7	14.6	8.6	-1.0103	-1.3272
360	35.0	75.0	40.0	2.0	.0	14.2	8.7	-1.0000	-1.0000

panjang OA-OB (fixed link): 12.00
 panjang poros engkol (crank/driver): 3.00
 panjang batang penghubung (coupler): 15.00
 panjang batang ayun (rocker/output link): 9.00
 kecepatan sudut poros engkol (rad/detik): 5.00

i	eps1	phi	beta	xa	ya	xb	yb	omr	oms
0	33.0	67.0	33.0	3.0	.0	15.5	8.3	-1.6667	-1.6667
20	27.0	62.0	35.0	2.8	1.0	16.1	8.0	-1.1827	-.3914
40	24.0	63.0	39.0	2.3	1.9	16.0	8.1	-.6320	.7137
60	22.0	68.0	45.0	1.5	2.6	15.4	8.4	-.1981	1.4188
80	22.0	74.0	52.0	.5	3.0	14.4	8.7	.1185	1.7804
100	23.0	82.0	58.0	-.5	3.0	13.2	8.9	.3609	1.8985
120	25.0	89.0	64.0	-1.5	2.6	12.1	9.0	.5618	1.8430
140	27.0	96.0	68.0	-2.3	1.9	11.0	8.9	.7369	1.6565
160	31.0	102.0	71.0	-2.8	1.0	10.0	8.8	.8870	1.3677
180	34.0	107.0	72.0	-3.0	.0	9.3	8.6	1.0000	1.0000
200	31.0	102.0	71.0	-2.8	-1.0	10.0	8.8	1.0455	.3390
220	27.0	96.0	68.0	-2.3	-1.9	11.0	8.9	.8960	-.3758
240	25.0	89.0	64.0	-1.5	-2.6	12.1	9.0	.5478	-1.0537
260	23.0	82.0	58.0	-.5	-3.0	13.2	8.9	.0420	-1.6292
280	22.0	74.0	52.0	.5	-3.0	14.4	8.7	-.5423	-2.0599
300	22.0	68.0	45.0	1.5	-2.6	15.4	8.4	-1.1014	-2.3141
320	24.0	63.0	39.0	2.3	-1.9	16.0	8.1	-1.5252	-2.3555
340	27.0	62.0	35.0	2.8	-1.0	16.1	8.0	-1.7222	-2.1418
360	33.0	67.0	33.0	3.0	.0	15.5	8.3	-1.6667	-1.6667

Lampiran 2. Data Hasil Simulasi (Panjang Poros Engkol 4 dan 5 satuan panjang)

panjang OA-OB (fixed link): 12.00
 panjang poros engkol (crank/driver): 4.00
 panjang batang penghubung (coupler): 15.00
 panjang batang ayun (rocker/output link): 9.00
 kecepatan sudut poros engkol (rad/detik): 5.00

i	eps1	phi	beta	xa	ya	xb	yb	omr	oms
0	29.0	56.0	26.0	4.0	.0	17.0	7.5	-2.5000	-2.5000
20	22.0	51.0	28.0	3.8	1.4	17.7	7.0	-1.4178	-.1626
40	18.0	53.0	35.0	3.1	2.6	17.3	7.3	-.5479	1.4152
60	17.0	61.0	44.0	2.0	3.5	16.3	7.9	-.0409	2.1727
80	17.0	70.0	52.0	.7	3.9	15.0	8.5	.2725	2.4661
100	19.0	80.0	61.0	-.7	3.9	13.5	8.9	.5043	2.4988
120	21.0	90.0	68.0	-2.0	3.5	11.9	9.0	.7073	2.3596
140	24.0	99.0	74.0	-3.1	2.6	10.5	8.9	.9024	2.0886
160	28.0	106.0	78.0	-3.8	1.4	9.4	8.6	1.0892	1.7106
180	33.0	112.0	79.0	-4.0	.0	8.5	8.3	1.2500	1.2500
200	28.0	106.0	78.0	-3.8	-1.4	9.4	8.6	1.3608	.3501
220	24.0	99.0	74.0	-3.1	-2.6	10.5	8.9	1.1903	-.6017
240	21.0	90.0	68.0	-2.0	-3.5	11.9	9.0	.7236	-1.4794
260	19.0	80.0	61.0	-.7	-3.9	13.5	8.9	.0162	-2.2092
280	17.0	70.0	52.0	.7	-3.9	15.0	8.5	-.8197	-2.7594
300	17.0	61.0	44.0	2.0	-3.5	16.3	7.9	-1.6393	-3.1151
320	18.0	53.0	35.0	3.1	-2.6	17.3	7.3	-2.2853	-3.2459
340	22.0	51.0	28.0	3.8	-1.4	17.7	7.0	-2.6027	-3.0716
360	29.0	56.0	26.0	4.0	.0	17.0	7.5	-2.5000	-2.5001

panjang OA-OB (fixed link): 12.00
 panjang poros engkol (crank/driver): 5.00
 panjang batang penghubung (coupler): 15.00
 panjang batang ayun (rocker/output link): 9.00
 kecepatan sudut poros engkol (rad/detik): 5.00

i	eps1	phi	beta	xa	ya	xb	yb	omr	oms
0	23.0	41.0	17.0	5.0	.0	18.8	5.9	-3.5714	-3.5714
20	13.0	36.0	22.0	4.7	1.7	19.3	5.3	-1.2288	.7721
40	11.0	43.0	32.0	3.8	3.2	18.5	6.2	-.1902	2.5039
60	11.0	54.0	43.0	2.5	4.3	17.2	7.4	.2225	3.0367
80	13.0	67.0	54.0	.9	4.9	15.5	8.3	.4542	3.1515
100	15.0	79.0	64.0	-.9	4.9	13.6	8.9	.6402	3.0645
120	18.0	91.0	73.0	-2.5	4.3	11.8	9.0	.8282	2.8361
140	21.0	102.0	80.0	-3.8	3.2	10.1	8.8	1.0352	2.4840
160	26.0	111.0	84.0	-4.7	1.7	8.7	8.4	1.2576	2.0207
180	31.0	118.0	86.0	-5.0	.0	7.7	7.9	1.4706	1.4706
200	26.0	111.0	84.0	-4.7	-1.7	8.7	8.4	1.6730	.3124
220	21.0	102.0	80.0	-3.8	-3.2	10.1	8.8	1.4958	-.8777
240	18.0	91.0	73.0	-2.5	-4.3	11.8	9.0	.9101	-1.9344
260	15.0	79.0	64.0	-.9	-4.9	13.6	8.9	-.0092	-2.7844
280	13.0	67.0	54.0	.9	-4.9	15.5	8.3	-1.1119	-3.4190
300	11.0	54.0	43.0	2.5	-4.3	17.2	7.4	-2.2130	-3.8547
320	11.0	43.0	32.0	3.8	-3.2	18.5	6.2	-3.1230	-4.0973
340	13.0	36.0	22.0	4.7	-1.7	19.3	5.3	-3.6488	-4.0829
360	23.0	41.0	17.0	5.0	.0	18.8	5.9	-3.5715	-3.5715